

---

# Indice

<b>1</b>	<b>Nozioni di base</b>	<b>1</b>
1.1	L'acqua e le sue proprietà	1
1.2	L'acqua nel sottosuolo	4
1.2.1	Acqua gravifica	4
1.2.2	Acqua di ritenzione	4
1.3	Il concetto di acquifero	6
1.4	Capacità di immagazzinamento e di rilascio	9
1.5	Capacità di trasporto	13
1.6	Criteri di classificazione degli acquiferi	17
1.7	Capacità di scambio tra acquiferi diversi	19
<b>2</b>	<b>L'applicazione della legge di Darcy</b>	<b>23</b>
2.1	Definizione di base	23
2.2	La misura del carico idraulico in campo	24
2.3	Ricostruzione della superficie piezometrica	25
<b>3</b>	<b>Fondamenti teorici dell'equazione differenziale di flusso</b>	<b>29</b>
3.1	Derivazione dell'equazione di continuità	29
3.2	L'equazione differenziale di flusso	31
<b>4</b>	<b>Soluzioni analitiche dell'equazione differenziale di flusso per una geometria radialpiana</b>	<b>35</b>
4.1	Acquifero confinato	36
4.1.1	Regime transitorio o di non equilibrio	36
4.1.2	Regime di equilibrio	42
4.2	Acquifero semiconfinato	43
4.2.1	Regime transitorio o di non equilibrio	43
4.2.2	Regime stazionario	47
4.3	Acquifero non confinato	49
4.3.1	Regime transitorio o di non equilibrio	52
4.3.2	Regime di equilibrio	65

4.4	Il concetto di raggio di drenaggio istantaneo e di raggio di influenza .....	66
<b>5</b>	<b>Caratterizzazione di un acquifero .....</b>	<b>69</b>
5.1	Classificazione e pianificazione di una prova di falda .....	69
5.2	Prova di falda in declino .....	75
5.2.1	Identificazione della tipologia idraulica .....	76
5.2.2	Procedura di interpretazione .....	77
5.3	Prova di risalita .....	97
5.4	Slug Test .....	99
5.4.1	Modelli d'interpretazione .....	99
5.4.2	Il metodo di Bouwer e Rice .....	100
5.4.3	Il metodo di Cooper, Bredehoeft e Papadopoulos .....	106
5.4.4	Il metodo KGS .....	110
5.5	Altri metodi di determinazione dei parametri caratteristici di un acquifero .....	113
5.5.1	Determinazione della conducibilità idraulica o della trasmissività .....	113
5.5.2	Determinazione del coefficiente d'immagazzinamento ..	122
5.5.3	Determinazione della porosità efficace .....	123
<b>6</b>	<b>Capacità produttiva ed efficienza idraulica di un pozzo ....</b>	<b>127</b>
6.1	Condizioni operative di una prova di pozzo .....	127
6.2	Fondamenti teorici ed interpretazione di una prova di pozzo ..	127
6.3	Produttività ed efficienza idraulica .....	131
6.4	Correlazione fra portata specifica e trasmissività .....	133
6.4.1	Valutazione del coefficiente $B_2$ .....	134
6.4.2	Valutazione del coefficiente $B_3$ .....	136
6.4.3	Calcolo dei coefficienti $B_2$ e $B_3$ .....	137
<b>7</b>	<b>Ottimizzazione della capacità produttiva di un sistema di approvvigionamento idrico .....</b>	<b>139</b>
7.1	Descrizione di un sistema di approvvigionamento idrico .....	139
7.2	Valutazione delle perdite di carico all'interno del sistema ....	140
7.3	Perdite di carico nel sottosistema pozzo-acquifero .....	140
7.4	Perdite di carico nella condotta di adduzione .....	141
7.4.1	Perdite di carico distribuite .....	141
7.4.2	Perdite di carico localizzate .....	141
7.5	Ottimizzazione della capacità produttiva del sistema .....	145
7.6	Variazioni nel tempo .....	148
<b>8</b>	<b>Vulnerabilità degli acquiferi e rischio di inquinamento ....</b>	<b>149</b>
8.1	Metodi di valutazione della vulnerabilità .....	150
8.1.1	Metodi di zonazione per aree omogenee .....	150
8.1.2	Metodi parametrici .....	152

8.2	Confronto fra i diversi metodi di determinazione della vulnerabilità .....	162
8.3	Il rischio di inquinamento .....	163
8.4	Un esempio di riduzione del rischio di inquinamento .....	165
8.4.1	Riduzione della probabilità dell'evento .....	165
8.4.2	Riduzione dell'intensità dell'evento .....	167
8.4.3	Riduzione del danno potenziale .....	168
<b>9</b>	<b>Delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi ad uso potabile .....</b>	<b>171</b>
9.1	Delimitazione delle aree di salvaguardia .....	171
9.1.1	Delimitazione analitica dell'area di salvaguardia di un pozzo singolo in un acquifero confinato .....	172
9.1.2	Applicazione generalizzata del criterio cronologico .....	172
9.2	Protezione dinamica .....	176
<b>10</b>	<b>I contaminanti presenti nelle acque sotterranee .....</b>	<b>179</b>
10.1	Classificazione chimica .....	179
10.1.1	Contaminanti inorganici .....	179
10.1.2	Contaminanti organici .....	180
10.2	Classificazione fisica .....	190
10.2.1	Stato fisico .....	190
10.2.2	Miscibilità .....	190
10.2.3	Densità .....	190
10.2.4	Solubilità .....	191
10.2.5	Coefficiente di partizione ottanolo-acqua .....	192
10.2.6	Tensione di vapore .....	192
10.2.7	Costante di Henry .....	193
10.3	Classificazione tossicologica .....	193
<b>11</b>	<b>Meccanismi di propagazione degli inquinanti in falda .....</b>	<b>197</b>
11.1	Fenomeni idrologici .....	197
11.1.1	Advezione .....	198
11.1.2	Diffusione molecolare .....	199
11.1.3	Dispersione cinematica .....	201
11.1.4	Dispersione idrodinamica .....	203
11.2	Fenomeni chimici .....	207
11.2.1	Modelli di reazione .....	207
11.2.2	Reazioni chimiche .....	210
11.3	Processi biologici: biodegradazione .....	213
11.4	Fenomeni chimico-fisici: adsorbimento .....	214
11.5	Concomitanza dei processi .....	219

<b>12</b>	<b>Fondamenti teorici dell'equazione differenziale del trasporto di massa</b>	221
12.1	Bilancio di massa del contaminante	221
12.2	Soluti conservativi	222
12.3	Soluti non conservativi	224
12.4	Condizioni iniziali ed al contorno	225
<b>13</b>	<b>Soluzioni analitiche dell'equazione differenziale del trasporto di massa per soluti non reattivi</b>	227
13.1	Geometria unidimensionale	227
13.1.1	Immissione continua con $C_0 = \text{cost}$ in $x = 0$	227
13.1.2	Immissione istantanea (o impulsiva)	231
13.2	Geometria bidimensionale	231
13.2.1	Sorgente lineare verticale, iniezione istantanea (o impulsiva)	232
13.2.2	Sorgente lineare verticale, iniezione continua	233
13.3	Geometria tridimensionale	235
13.3.1	Sorgente puntuale, immissione istantanea (o impulsiva)	235
13.3.2	Sorgente areale, immissione continua	236
<b>14</b>	<b>Soluzioni analitiche dell'equazione differenziale del trasporto di massa per soluti reattivi</b>	239
14.1	Geometria monodimensionale	239
14.1.1	Immissione continua con concentrazione $C_0 = \text{cost}$ in $x = 0$	239
14.1.2	Immissione impulsiva	242
14.2	Geometria tridimensionale	243
14.2.1	Sorgente puntuale, immissione istantanea (o impulsiva)	243
14.2.2	Sorgente areale, immissione continua	244
<b>15</b>	<b>Propagazione delle sostanze non miscibili</b>	247
15.1	Proprietà dei sistemi multifase solido-liquido	247
15.1.1	Bagnabilità	247
15.1.2	Tensione interfacciale e pressioni capillari	248
15.1.3	Permeabilità effettiva e relativa	249
15.1.4	Imbibizione e drenaggio	251
15.2	Modelli qualitativi di comportamento di NAPL nel sottosuolo	253
15.2.1	Comportamento dei LNAPL	253
15.2.2	Comportamento dei DNAPL	255
15.3	Contaminazione secondaria dovuta ai NAPL	256
15.4	Approccio quantitativo	257
15.4.1	Caratterizzazione geometrico-temporale	257
15.4.2	Distribuzione della massa di un NAPL	257
15.5	Considerazioni conclusive	259

<b>16</b>	<b>Caratterizzazione della contaminazione</b>	261
16.1	Ubicazione dei punti di campionamento	262
16.2	Campionamento nel mezzo non saturo	265
16.2.1	Numero minimo di punti di campionamento	266
16.2.2	Campionamento di terreno	266
16.2.3	Perforazione a rotazione	267
16.2.4	Perforazione mediante sistemi direct-push o ad infissione diretta	267
16.2.5	Campionamento di terreno per analisi di composti volatili	268
16.2.6	Campionamento di gas interstiziali	268
16.2.7	Campionamento di acqua interstiziale	271
16.3	Campionamento nel mezzo saturo	275
16.3.1	Campionamento lungo la verticale	276
16.3.2	Piezometri multilivello	276
16.3.3	Tecniche <i>direct-push</i>	277
16.4	Spurgo	278
16.4.1	Criterio basato sul volume del pozzo	279
16.4.2	Criterio legato alla stabilizzazione di parametri chimico-fisici	279
16.4.3	Criterio basato sull'immagazzinamento del pozzo e sui parametri idrodinamici dell'acquifero	280
16.4.4	Low-flow purging e stabilizzazione dei parametri chimico fisici	280
16.5	Campionamento	281
16.5.1	Portata di campionamento	282
16.5.2	Raccolta del campione	282
16.6	Sistemi di campionamento e di spurgo	283
16.6.1	Bailer	285
16.6.2	Pompe centrifughe sommerse	286
16.6.3	Bladder pumps	287
16.6.4	Pompe peristaltiche	289
16.6.5	Pompe inerziali con valvola di non ritorno	290
16.7	Misurazione in campo dei parametri di qualità dell'acqua	291
16.8	Filtrazione del campione	292
16.9	Controllo di qualità	293
16.10	Pulizia e decontaminazione delle attrezzature	294
16.11	Conservazione del campione	295
16.12	Bianchi e duplicati di controllo	296
16.13	Materiali	298
<b>17</b>	<b>L'analisi del rischio sanitario ambientale</b>	299
17.1	Definizione di rischio sanitario ambientale	300
17.2	Caratteristiche della procedura di analisi di rischio	300
17.2.1	Articolazione in fasi	301

17.2.2	Articolazione in livelli di approfondimento .....	301
17.3	Sviluppo della procedura di analisi di rischio .....	304
17.3.1	Piano della caratterizzazione .....	304
17.3.2	Calcolo della concentrazione nel punto di esposizione ..	306
17.4	Modelli e parametri tossicologici .....	318
17.5	Valutazione del rischio .....	318
17.5.1	Determinazione della concentrazione nel punto di esposizione .....	319
17.5.2	Tasso di esposizione .....	319
17.5.3	Calcolo del rischio .....	321
17.5.4	Criteri di accettabilità .....	323
17.6	La gestione del rischio .....	324
17.7	Considerazioni conclusive .....	326
<b>18</b>	<b>Bonifica e messa in sicurezza di acquiferi contaminati .....</b>	<b>327</b>
18.1	Recupero del prodotto libero .....	328
18.1.1	Recupero della fase libera mediante skimmer .....	328
18.1.2	Recupero della fase libera mediante depressione della tavola d'acqua .....	329
18.1.3	Bioslurping .....	331
18.2	Contenimento fisico .....	332
18.3	Pump and Treat .....	333
18.3.1	Progettazione di un sistema P&T .....	334
18.3.2	Volumi d'acqua da estrarre .....	344
18.3.3	Stima dell'efficienza di un sistema P&T .....	347
18.3.4	Potenziali limitazioni al metodo P&T .....	349
18.3.5	Tecnologie di trattamento dell'acqua estratta .....	350
18.4	Air sparging e biosparging .....	351
18.4.1	Configurazione e finalità .....	353
18.4.2	Applicabilità .....	354
18.4.3	Dinamica del processo .....	356
18.4.4	Dimensionamento .....	358
18.5	Barriere reattive permeabili (PRB) .....	360
18.5.1	Prove in laboratorio .....	364
18.5.2	Dimensionamento di una PRB .....	368
18.5.3	Soluzioni tecniche per la realizzazione della barriera reattiva permeabile .....	371
18.5.4	Rete di monitoraggio .....	376
18.5.5	Micro e nanoparticelle di ferro .....	378
18.5.6	La barriera reattiva permeabile di Avigliana .....	379
18.6	Lavaggio in situ (in situ flushing) .....	386
18.7	Ossidazione in situ (In situ oxidation) .....	390
18.8	Biorisanamento in situ .....	394
18.8.1	Fattori che concorrono alla biodegradazione .....	395
18.8.2	Biodegradazione di contaminanti organici .....	399

18.8.3 Biodegradazione dei prodotti petroliferi . . . . .	400
18.8.4 Biodegradazione dei solventi clorurati . . . . .	401
18.8.5 Enhanced in situ bioremediation EISB . . . . .	405
<b>Bibliografia . . . . .</b>	<b>409</b>

Ingegneria degli acquiferi

Di Molfetta, A.; Sethi, R.

2012, XIII, 415 pagg., Softcover

ISBN: 978-88-470-1850-1